



Tielaitos

Tieverkon ylläpidon ohjausjärjestelmät

Otostiet ja rappeutumismallit

**Tielaitoksen
selvityksiä**

53/1991

Helsinki 1991

Tiehallitus

Tielaitoksen selvityksiä
53/1991

Tieverkon ylläpidon ohjausjärjestelmät

Otostiet ja rappeutumismallit

Tielaitos
Tiehallitus, tuotannon kehittämispalvelut

Helsinki 1991

ISBN 951-47-5516-2
ISSN 0788-3722
TIEL 3200048-91
c Tielaitos 1991

Valtion painatuskeskus
Pasilan VALTIMO
Helsinki 1992

Julkaisua myy
Tiehallitus, painotuotevarasto

Tielaitos
Tiehallitus
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI

Tiivistelmä

Tielaitoksessa on kehitetty päällystettyjen teiden ylläpidovaihtoehtojen tarkasteluun HIPS-järjestelmä (Highway Investment Programming System). Järjestelmällä analysoidaan koko maan yleisten päällystettyjen teiden ylläpitovaihtoehtojen yhteiskuntataloudellista kannattavuutta. Sen pääasiallisia käyttäjiä ovat Tiehallituksen tuotannon strategisesta ohjauksesta vastaavat vastuualueet, joskin sitä voidaan käyttää myös yksittäisissä piireissä.

Järjestelmän toisen, vuonna 1991 valmistuneen version myötä myös järjestelmän lähtötiedot ja mallit on uudistettu.

HIPS-järjestelmä sisältää tieverkkotasoisia malleja tien rappeutumisesta, toimenpiteiden vaikutuksesta sekä ylläpito- ja ajokustannuksista. Näitä malleja muodostettaessa on lähtötietoina käytetty otostieverkon mittaustuloksia, delphi-asiantuntijakyselyä toimenpiteiden vaikutuksista sekä tehtyjä tutkimuksia ylläpitotoimenpide- ja ajokustannuksista.

Tämän raportin ensimmäisessä osassa käsitellään otostieverkon valintaa, mittauksia ja mittaussuunnitelmaa. Otostieverkko on pituudeltaan 3000 km ja on suunniteltu siten, että se kuvaa koko maan päällystettyä tieverkkoa.

Otosteiltä mitataan mm. epätasaisuutta, kantavuutta, vaurioita ja uria/poikittaista epätasaisuutta. Tämän lisäksi seurataan myös otosteillä tehtyjä toimenpiteitä.

Raportin toinen osa käsittelee otosteiden kunnonseurannan perusteella laadittuja malleja ja niiden teoriaa. Tässä raportissa käsitellään vain vuosien 1989 ja 1990/1991 mittausten perusteella laadittuja malleja: epätasaisuus-, vaurio- ja poikittaisen epätasaisuuden malleja sekä Ös-verkon kantavuusmalleja. Ab-teiden kantavuus- ja uramallit on laadittu aiemman aineiston perusteella eikä niitä käsitellä tässä raportissa.

Tässä raportissa esitetyt rappeutumismallit parantavat huomattavasti HIPS-järjestelmän luotettavuutta. Mallien kehitystyön on kuitenkin syytä olla jatkuva prosessi. Nyt käytössä olevien 2. sukupolven mallien jälkeen on 2-3 vuoden kuluttua syytä muodostaa uudet mallit. Tällöin käytössä olisi jo 5-6 vuoden mittaustulokset.

HIPS-järjestelmän yksityiskohdista ja muista lähtötiedoista voi lukea tarkemmin lähdekirjallisuudesta.

ALKUSANAT

Kesto- ja kevytpäällysteisille tieverkoille perustettiin kummallekin noin 1500 kilometrin mittaiset otostieverkot vuosina 1987-88. Näille otosteille on suoritettu sekä kantavuus- että palvelutasomittauksia vuosina 1988-91.

Otosteiltä mitattuja kuntotietoja on hyödynnetty HIPS-järjestelmässä, jonka (päällystettyjen teiden) rappeutumismallit on estimoitu näiden tietojen perusteella.

Tämän raportin ensimmäiseen osaan on koottu yhteen mainitun otostieverkon muodostamisen tausta, perusteet, saadut mittaussuoritteet ja -tulokset, tulosten hyödyntäminen sekä arviot otostieverkon tulevaisuudensuunnitelmista. Raportin toiseen osaan on koottu HIPS-järjestelmässä käytössä olevat rappeutumismallit, jotka on estimoitu tämän otostieverkon perusteella.

Raportin ovat koonneet erikoistutkija Riitta Olsonen, ins. Arto Tevajärvi ja DI Pertti Virtala Tiehallituksesta sekä FM Vesa Männistö ja DI Kimmo Tikka Viasys Oy:stä.

 Sisältö

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

OSA I: OTOSTIET

1. YLEISTÄ	8
2. OTOSTEIDEN VALINTAPERUSTEET	8
2.1. Otosteiden valinta	8
2.2. Otosteiden määrä	9
3. OTOSTEIDEN HISTORIA JA TULEVAISUUS	10
4. KANTAVUUSMITTAUKSET	10
4.1. Mittaustapa	10
4.2. Mittausohjelma	11
4.3. Tuloksia	11
5. PALVELUTASOMITTAUKSET	12
6. TOIMENPIDEKOHTEET OTOSTEILLÄ	15
6.1. Toimenpidetyypit otosteillä	16
6.1.1. Asfalttibetoni- (Ab-)tiet	16
6.1.2. Öljysora- (Ös-)tiet	17
6.2. Toimenpiteiden vaikutus	17

OSA II: RAPPEUTUMISMALLIT

7. RAPPEUTUMISMALLIT	18
7.1. Yleistä	18
7.2. Tutkimusaineisto	18
7.2.1. Muuttujien luokkarajat	19
7.3. Mallien teoriaa	20
7.4. Malliesimerkki	23
7.5. Ab-teiden mallit	25
7.5.1. Vauriomalli	26
7.5.2. Tasaisuusmalli	28
7.6. Ös-Mallit	31
7.6.1. Ös-teiden mallien vaikutussuhteet	31
7.6.2. Kantavuusmalli	31
7.6.3. Tasaisuusmalli	32
7.6.4. Poikittaisen epätasaisuuden malli	33
7.6.5. Vauriomalli	35
KIRJALLISUUSLUETTELO	37

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

HIPS	Highway Investment Programming System, päällystetyn tiestön ylläpidon ohjaukseen tarkoitettu ohjelmisto
Ab	kestopäällyste, asfalttibetoni
Ös	kevytpäällyste, öljysora
PMS	Pavement Management System
p	todennäköisyys
$\exp(x)$	eksponenttifunktio e^x
K	kantavuusluokka
T	tasaisuusluokka
U	uraluokka
V	vaurioluokka
K_t, K_{t+1}	kantavuusluokka vuonna t ja kantavuusluokka vuonna t+1, vastaavasti myös muuttujille T, U ja V.
poikittainen epätasaisuus	käytetään myös termejä uraisuus ja poikittainen tasaisuus, Ös-teillä käytetty urasyvyyttä korvaava muuttuja

OSA I: OTOSTIET

1. YLEISTÄ

Tässä raportissa kuvattu otostieverkko on alunperin tarkoitettu verkoksi, jolta kerättävää kuntotietoa käytetään Ab- ja Ös-teiden rappeutumis- (käytetty myös termiä ikäkäyttäytymis-) mallien estimointiin.

Näitä malleja käytetään pääasiassa HIPS- (Highway Investment Programming System-) järjestelmässä. Järjestelmää kuvaavat tarkemmin mm. Talvitie *et al.* (1988), CSI (1989), Thompson *et al.* (1989) sekä Äijö *et al.* (1990).

Otostieverkolta kerätään vuosittain kantavuusarvot, palvelutasomittarilla mitattavat tiedot (lähinnä urat ja tasaisuus) sekä vauriotiedot joko vaurioinventointina tai -arviointina. Koska otostiet muodostavat "pienoiskuvan" Suomen päällystetystä tieverkosta, voidaan näitä tietoja käyttää muihinkin tiestön kuntoa koskeviin verkkotason tutkimuksiin.

2. OTOSTEIDEN VALINTAPERUSTEET

2.1. Otosteiden valinta

Ennen otostieverkon muodostamista oli päätettävä, mitkä olivat ne kuntomuuttujat, joita HIPS-järjestelmässä tullaan käyttämään. Talvitien ja Olsosen tutkimuksessa (1988) saatiin faktorianalyysillä selville, että asfalttiteillä tarvittavat faktorit olisivat kantavuus, vauriot, urat ja tasaisuus. Nämä tiedot tulisi mitata mahdollisimman samanaikaisesti ja vuosittain samoihin aikoihin, jotta saataisiin mallien estimoinnissa käyttökelpoinen aineisto.

Ennen otannan suorittamista kerättiin yhteen kaikki tarvittava tieto otoskehikon muodostamiseksi. Tieverkko jaettiin kahteen maantieteelliseen alueeseen ja kolmeen liikennemääräluokkaan ja tarkkailtaviksi muuttujiksi valittiin Ab-teillä edellä mainitut neljä kuntomuuttujaa.

Öljysorateiden tapauksessa tutkittiin myös, mitkä ovat relevantit kuntomuuttujat, aluejako ja KVL-jako (Männistö 1987 ja 1988). Muuttujiksi valittiin kantavuus, vauriot, tasaisuus ja poikittainen epätasaisuus (uraisuus), joka korvasi Ab-teillä käytetyn urasyvyyden. Aluejako määriteltiin samanlaiseksi kuin Ab-teillä ja KVL-rajat määritettiin.

Jotta kaikissa kuntoluokissa päästäisiin mahdollisimman tarkkaan estimointiin, oli havaintoaineiston edustettava hyvin niitä kaikkia. Tähän päästiin suorittamalla otanta ositettuna otantana, jolloin ensimmäisessä vaiheessa tieverkko jaettiin tausta- ja kuntomuuttujien suhteen ositteisiin ja toisessa vaiheessa suoritettiin otanta valittuihin ositteisiin. Otoksen valinta suoritettiin tierekisterin avulla. Tierekisterissä ei kuitenkaan ollut tarvittavista muuttujista saatavilla muuta kuin alue-, liikennemäärä- ja kantavuustietoa.

Tämän vuoksi urille, vaurioille ja tasaisuudelle täytyi löytää joku tierekisteristä löytyvä muuttuja, joka ilmaisisi näiden kuntomuuttujien vaihtelua. Käytössä olleista muuttujista päällysteen ikä havaittiin sopivimmaksi muuttujaksi. Tieverkko jaettiin siten päällysteen iän mukaan kolmeen luokkaan: alle 4 vuotta, 4-9 vuotta ja yli 9 vuotta vanhat päällysteet. Jakopisteet valittiin siten, että iän logaritmi jakoi iän vaihtelun suunnilleen kolmeen yhtä pitkään osaan.

Ositteeseen saatiin edellä mainitulla järjestelyllä Ab-teillä 2x3x5x3-kaavio. Keskusteluissa todettiin, että 1500 yhden kilometrin mittausyksikköä muodostaa riittävän suuren otoksen. Tällöin kaavion kustakin ruudusta suoritetaan 17 mittausyksikön satunnaisotos. Ös-teiden tapauksessa päätettiin aiemmin, että kantavuusluokkia olisi neljä Ab-teiden viiden asemesta, joten samantapaisella järjestelyllä päädyttiin 2x3x4x3-kaavioon, jolloin jokaisesta ositteesta suoritettiin 21 yksikön satunnaisotanta.

Edellisellä ositetuun otantaan perustuvalla koejärjestelyllä varmistettiin se, että saadut tulokset voidaan yleistää koskemaan koko päällystetyn tieverkon kuntoa ja sen muutosta. Jos mallien estimointi suoritettaisiin normaaliin kuntomittausten perusteella, eivät mallit antaisi kuvaa koko päällystetystä tieverkosta, sillä normaaleja mittauksia ei tehdä otoksena, vaan ne painottuvat johonkin tiettyyn suuntaan (huonokuntoisiin + päättieverkkoon).

Otostieverkkoa on mitattu vuodesta 1989 lähtien (kantavuutta jo 1988). Mittausmäärät vuosittain, päällystettäin ja kuntomuuttujittain kuvataan kappaleissa 5 ja 6.

2.2. Otosteiden määrä

Piireittäin otostiestö jakautuu taulukon 1 mukaan:

Taulukko 1. Otosteiden määrä piireittäin [km] ja [% tieverkon pituudesta].

<i>Piiri</i>	<i>Ab km</i>	<i>%</i>	<i>Ös km</i>	<i>%</i>
Uusimaa	202	7.5	54	4.8
Turku	165	6.9	256	6.5
Häme	194	10.5	161	6.7
Kymi	114	10.8	86	6.5
Mikkeli	105	10.7	85	4.4
Pohjois-Karjala	76	11	73	3.9
Kuopio	103	12.4	59	2.9
Keski-Suomi	137	13.4	79	5.5
Vaasa	81	5.5	194	6.5
Keski-Pohjanmaa	78	11.4	64	3.7
Oulu	85	12	107	3.8
Kainuu	29	6.5	60	2.7
Lappi	94	10.4	230	4.7
Yhteensä	1 463	9.3	1508	4.9

3. OTOSTEIDEN HISTORIA JA TULEVAISUUS

Ennen otostieverkon perustamista vuonna 1987 estimoitiin ensimmäiset rappeutumismallit Ab-teille. Nämä mallit on kuvattu Olsosen raportissa (1988). Kun saatuja malleja arvioitiin, todettiin että estimointiin käytettävissä oleva aineisto antoi varsin laihoja tuloksia johtuen pääasiassa siitä, että käytetyn aineiston keruuta ei oltu suunniteltu tämänlaisen systeemin tarpeisiin. Toisaalta havaittiin, että rappeutumismallien päivittäminen ja tarkentaminen olisi jatkossakin tarpeellista. Öljysorateiden ja sorateiden osalta havaittiin, että niiltä oli kuntotietoa vielä vähemmän saatavilla ja että tietoa mitä ilmeisimmin tultaisiin tarvitsemaan.

Samaan aikaan oltiin Tiehallituksessa järjestämässä tiestön nopeita kunto-mittauksia ns. palvelutasomittareiden avulla. Tämä päätös auttoi otostieverkon perustamisessa, sillä suunniteltu ja nykyisin käytössä oleva mittauskapasiteetti antoivat mahdollisuuden mitata joustavasti näin suuren otostieverkon vuosittain.

Nykyään palvelutasomittausuusiote on suuri ja otosteiden mittaus ei hyvin suunniteltuna aiheuta huomattavia lisäponnisteluja. Otosteiden seurantaa onkin syytä jatkaa seuraavan mallisukupolven lähtöaineiston keräämiseksi. Uusien mallien tekoon on syytä ryhtyä viimeistään 2-3 vuoden kuluessa.

Otosteiltä kerätyn mittausaineiston käyttöä muihinkin tutkimuksiin kuin HIPS-ohjelmiston mallien estimointiin on syytä pohtia. Kerättyjä mittaus-tuloksia voidaan käyttää mm. yleiseen tieverkon kunnon kehittymistä koskevaan tutkimukseen.

4. KANTAVUUSMITTAUKSET

4.1. Mittaustapa

Otosteiden kantavuus on mitattu kultakin otoskilometriltä kymmenestä pisteestä sadan metrin välein. Mittaukset suoritetaan siis tiheämmin kuin normaaleissa tierekisterimittauksissa, joissa pääsääntöisesti mitataan kymmenestä kohdasta kullakin tieosalla.

Kunkin piirin kantavuusmittaajat ovat suorittaneet mittaukset muutoin tierekisterimittauksien ohjeiden mukaan. Mittauslaitteena on vuosina 1988 - 1990 käytetty KUAb-pudotuspainolaitetta muualla paitsi Uudenmaan, Mikkelin, Keski-Suomen ja Keski-Pohjanmaan piireissä. Mikkelissä, Keski-Suomessa ja Keski-Pohjanmaalla on käytetty Benkelman-palkkia kuten myös Uudellamaalla vuosina 1988 ja 1989. Kesällä 1990 Uudellamaalla siirryttiin käyttämään KUAb-pudotuspainolaitetta. Kainuussa on kaikki tähänastiset mittaukset tehty Oulun yliopiston Phoenix-pudotuspainolaitteella.

4. KANTAVUUSMITTAUKSET

4.2. Mittausohjelma

Periaatteena vuosittaista mittausohjelmaa laadittaessa on ollut, että pientä osaa kohteista mitataan vuosittain ja suurinta osaa 2-3 vuoden välein.

Aloitusvuonna 1988 pyrittiin mittaamaan koko otostieverkko, jossa hyvin pitkälle onnistuttiinkin.

Kesällä 1989 mitattiin edellisenä vuonna jääneitä rästejä ja lisäksi uudelleen kolmannes jo mitatuista.

Vuoden 1990 mittausohjelmassa oli muutaman puutteen lisäksi puolet kahteen kertaan mitatuista ja kolmannes kerran mitatuista.

Vuodesta 1991 alkaen kaikki kantavuusmittaukset tehdään pudotuspainolaitteilla. Tämä aiheuttaa lisämittauksia myös otosteillä, koska huomattava osa kohteista on mitattu tähän asti Benkelman-palkilla. Kesän 1991 mittausohjelma onkin suunniteltu silmälläpitäen erityisesti palkkimittausten korvaamista pudotuspainomittauksilla samalla kun toistomittauksia on myös jatkettu.

Mittausohjelmaan otettiin kustakin piiristä kolmannes otosteistä. Niissä piireissä, joissa edellisinä vuosina oli mitattu muulla kuin KUAb-pudotuspainolaitteella, valittiin satunnaisesti nämä kohteet; muissa piireissä uusintamittauksia painotettiin vain 1988 mitattuihin kohteisiin kuitenkin pitäen mukana pientä joka vuosi mitattavaa joukkoa.

Taulukko 2 Kantavuusmittausohjelma 1988-1991 piireittäin [km].

Piiri	1988	1989	1990	1991
Uusimaa	256	87	99	89
Turku	421	143	168	152
Häme	355	111	129	115
Kymi	200	200	66	67
Mikkeli	190	55	70	63
Pohjois-Karjala	149	149	50	51
Kuopio	162	80	64	56
Keski-Suomi	196	71	81	73
Vaasa	275	75	91	95
Keski-Pohjanmaa	142	35	53	50
Oulu	192	64	78	61
Kainuu	89	32	32	30
Lappi	324	238	219	113
Yhteensä	2951	1340	1200	1015

4.3. Tuloksia

Kantavuusmittaukset on alusta asti tehty pudotuspainolaitteella muissa piireissä paitsi Uudellamaalla, Mikkeliissä, Keski-Suomessa ja Keski-Pohjanmaalla. Uusimaa on vuonna 1990 siirtynyt pudotuspainolaitteen käyttöön. Kainuu on vuosina 1988-1990 käyttänyt Oulun yliopiston

Phoenix-pudotuspainolaitetta, joka ei aivan täysin vastaa KUAbia. Verrattaessa tuloksia piirien kesken on huomattava tämä laite-ero, koska mitään korjauksia ei ole tehty. Verrattaessa eri vuosien tuloksia keskenään on huomattava, että mittauskohteet vaihtelevat vuosittain.

Taulukko 3 Kantavuusmittausten keskiarvot (ka, kesäkantavuus) [MN/m²] ja mitattujen otosteiden määrät piireittäin (lkm).

Piiri	1988		1989		1990	
	ka	lkm	ka	lkm	ka	lkm
Uusimaa	213	249	357	79	410	96
Turku	337	411	352	145	358	165
Häme	384	352	403	110	422	127
Kymi			422	199	413	65
Mikkeli	376	185	370	56	383	70
Pohjois-Karjala			391	149	387	49
Kuopio	388	134	368	64	385	58
Keski-Suomi	212	215	305	68	311	78
Vaasa	310	190	332	85	296	88
Keski-Pohjanmaa	247	142	228	35	253	52
Oulu	294	185	303	63	313	77
Kainuu	288	84	305	31	325	29
Lappi	307	123	332	59	341	203
Yhteensä	310	2270	363	1143	357	1157

5. PALVELUTASOMITTAUKSET

Otosteiden kuntoa mitattiin vuonna 1989 VTT:n palvelutasomittarilla ja vuonna 1990 myös tielaitoksen kahdella mittarilla (Häme/Vaasa ja Turku/Uusimaa). Palvelutasomittauksissa mitataan tien pinnan uria ja tasaisuutta. Mikäli käytössä on painonapit voidaan samalla arvioida tienpinnan vaurioita.

Mittarin tulostamasta uratiedosta käytettiin tässä tutkimuksessa 100 metrin osuuden maksimiurasyvyyksien keskiarvoa Ab-teillä ja poikittaista epätasaisuutta Ös-teillä.

Tasaisuustietona käytetään IRI-arvoa (International Roughness Index [mm/m]).

Vauriotietoa vuonna 1990 saatiin vain VTT:n mittaamilta osuuksilta. Häme/Vaasa-autossa ei ole vauriotietojen tallentamiseen tarvittavaa näppäimistöä ja Turku/Uusimaa-auton miehistö ei niitä vuonna 1990 käyttänyt. Puuttuvaa näppäimin tallennettua vauriotietoa on täydennetty vaurioinventointi tuloksilla.

Seuraavissa taulukoissa esitetään muuttujittain mitattujen tietojen jakaumat vuosittain ja piireittäin.

*Taulukko 4. Kuntomuttujen jakaumat piireittäin ja vuosittain Ab-teillä
[havaintojen lukumäärät].*

Tasaisuus

Piiri	ei mitt.	1989			ei mitt.	1990		
		1	2	3		1	2	3
Uusimaa	123	302	1109	261	16	257	501	31
Turku	67	331	1058	188	1105	99	375	65
Häme	22	548	1030	78	200	455	942	81
Kymi	259	285	685	52	119	327	775	60
Mikkeli	43	373	543	20	10	391	561	17
Pohjois-Karjala	82	317	355	28	41	356	350	35
Kuopio	72	353	552	35	0	362	588	62
Keski-Suomi	58	329	807	88	42	311	843	86
Vaasa	48	175	547	53	31	219	517	56
Keski-Pohjanmaa	11	162	510	21	24	141	527	12
Oulu	109	163	532	20	47	190	559	28
Kainuu	11	124	172	10	0	139	169	9
Lappi	5	183	531	30	37	186	493	33

Urat

Piiri	ei mitt.	1989			ei mitt.	1990		
		1	2	3		1	2	3
Uusimaa	158	1528	107	2	1003	739	48	5
Turku	91	1451	96	6	1105	530	8	1
Häme	58	1584	36	0	198	1369	107	4
Kymi	274	918	86	3	118	1148	15	0
Mikkeli	64	830	70	15	10	919	49	1
Pohjois-Karjala	95	651	30	6	46	722	14	0
Kuopio	88	897	26	1	6	980	22	4
Keski-Suomi	107	1142	33	0	42	1159	81	0
Vaasa	69	708	42	4	29	759	35	0
Keski-Pohjanmaa	20	678	6	0	24	674	6	0
Oulu	134	678	12	0	51	757	16	0
Kainuu	31	284	2	0	0	315	2	0
Lappi	34	705	10	0	37	703	9	0

Vauriot

Piiri	ei mitt.	1989			ei mitt.	1990		
		1	2	3		1	2	3
Uusimaa	81	1225	306	183	1732	57	6	0
Turku	54	1229	258	103	1636	1	5	2
Häme	10	1449	150	69	1453	127	74	24
Kymi	241	933	95	12	107	137	113	24
Mikkeli	38	760	164	17	10	798	142	29
Pohjois-Karjala	75	562	93	52	41	523	112	106
Kuopio	61	826	100	25	0	809	172	31
Keski-Suomi	49	146	147	40	42	118	178	44
Vaasa	34	582	152	55	405	220	143	55
Keski-Pohjanmaa	7	555	122	20	24	443	212	25
Oulu	38	670	103	13	47	529	193	55
Kainuu	11	274	21	11	0	278	38	1
Lappi	4	591	135	19	37	552	137	23

Taulukko 5. Kuntomuttujen jakaumat piireittäin ja vuosittain Ös-teillä
[havaintojen lukumäärät].

Tasaisuus

Piiri	ei mitt.	1989			ei mitt.	1990		
		1	2	3		1	2	3
Uusimaa	44	43	160	165	396	0	4	12
Turku	148	217	979	710	838	157	648	411
Häme	7	375	561	341	64	317	614	289
Kymi	80	269	377	131	47	276	432	102
Mikkeli	13	174	301	183	20	162	309	180
Pohjois-Karjala	42	293	272	93	30	292	276	102
Kuopio	19	121	182	89	21	116	193	81
Keski-Suomi	35	135	208	123	9	125	214	153
Vaasa	125	478	748	356	1689	6	12	0
Keski-Pohjanmaa	63	136	282	125	59	115	309	123
Oulu	71	251	423	198	65	226	438	214
Kainuu	28	123	254	78	10	121	260	92
Lappi	64	431	1106	378	23	456	1099	401

Poikittainen epätasaisuus

Piiri	ei mitt.	1989			ei mitt.	1990		
		1	2	3		1	2	3
Uusimaa	42	337	29	4	396	16	0	0
Turku	151	1743	154	6	832	1202	20	0
Häme	5	1164	110	5	60	1195	27	2
Kymi	79	746	31	1	47	781	28	1
Mikkeli	13	562	84	12	20	537	100	14
Pohjois-Karjala	43	616	37	4	30	637	31	2
Kuopio	19	356	35	1	21	348	41	1
Keski-Suomi	35	427	33	6	9	428	61	3
Vaasa	124	1499	81	3	1689	18	0	0
Keski-Pohjanmaa	70	517	19	0	59	498	49	0
Oulu	70	805	62	6	64	752	115	12
Kainuu	28	424	29	2	10	408	61	4
Lappi	60	1782	124	13	20	1693	255	11

Vauriot

Piiri	ei mitt.	1989			ei mitt.	1990		
		1	2	3		1	2	3
Uusimaa	42	171	81	118	412	0	0	0
Turku	109	164	349	532	1750	208	38	58
Häme	5	674	338	267	876	134	115	159
Kymi	43	561	158	95	36	477	192	152
Mikkeli	7	371	118	175	20	307	137	207
Pohjois-Karjala	20	467	61	152	30	341	85	244
Kuopio	4	250	52	105	21	206	66	118
Keski-Suomi	19	240	92	150	0	218	73	210
Vaasa	89	128	183	407	1467	117	34	89
Keski-Pohjanmaa	39	378	81	108	59	299	75	173
Oulu	54	609	84	196	55	507	98	283
Kainuu	26	266	67	124	10	227	76	170
Lappi	45	1373	211	350	10	1118	263	588

6. TOIMENPIDEKOhteet OTOSTEILLÄ

Toimenpiteiden vaikutusten arvioimiseksi on otosteiltä kerätty mittaustietojen lisäksi myös toimenpiteiden määrä ja laatu. Koska toimenpidekohteiden aineistoa kertyy otosteiltä vuosittain melko vähän, joudutaan toimenpiteiden kartoitusta tekemään usean vuoden ajan. Tähän mennessä on toimenpidetietoja kerätty otosteiltä kahdelta vuodelta (tämä vuosi 1991 tulee olemaan kolmas). Lisäksi toimenpidekohteita mitattiin Lapin tiepiirin sekä osittain myös läntisten rannikkopiirien alueilta vuosina 1988-89 ruotsalaisten RST-mittausautolla.

Otosteilla on tehty tiepiirien ilmoitusten mukaan toimenpiteitä seuraavasti.

Taulukko 5. Toimenpiteiden määrä [km] otosteilla 1989 ja 1990.

Piiri	Ab 1989	1990	Ös 1989	1990
Uusimaa	25.0	33.2	0.0	4.0
Turku	28.0	23.0	26.0	14.0
Häme	32.0	17.0	17.0	7.0
Kymi	26.0	14.6	8.0	4.0
Mikkeli	30.0	15.0	4.0	2.0
Pohjois-Karjala	10.0	15.0	2.0	0.0
Kuopio	27.0	28.0	16.0	10.0
Keski-Suomi	37.0	52.0	12.0	5.0
Vaasa	33.0	22.3	12.0	7.0
Keski-Pohjanmaa	4.0	3.0	4.0	3.0
Oulu	25.0	19.0	7.0	8.9
Kainuu	9.0	3.0	7.0	1.0
Lappi	19.0	111.2	26.0	10.0
Yhteensä	305.0	343.3	138.0	85.9

Toimenpiteiden määrä oli siten vuonna 1989 noin 450 km ja vuonna 1990 430 km.

6.1. Toimenpidetyypit otosteilla

Eri toimenpideryhmiä on kestopäällysteisillä teillä 7 ja kevytpäällysteisillä teillä 4:

6.1.1. Asfalttibetoni- (Ab-)tiet

Toimenpidetunnus Kuvaus

- | | |
|--------------------|---|
| 0. Ei tehdä mitään | Halkeamien saumausta, reikien paikkausta yms. |
| 1. Urapaikkaus | Ab 16/40 massaa neljään 1.0 m levyiseen jyrsittyyn laatikkoon |
| 2. Paikkaus | Koko kaistan leveydeltä <100 m/km |
| 3. Pintaus | <70 kg/m ² Ab:tä tasaamattomalle alustalle |
| 4. Ohut UP | 70-99 kg/m ² Ab:tä TAS alustalle |
| 5. Paksu UP | >100 kg/m ² Ab:tä TAS alustalle |
| 6. Kevyt RP | Sitomattomia kerroksia alle 20 cm |
| 7. Raskas RP | Sitomattomia kerroksia yli 20 cm |

6. TOIMENPIDEKOhteet OTOSTEILLÄ

6.1.2. Öljysora- (Ös-)tiet

Toimenpidetunnus	Kuvaus
0. Ei tehdä mitään	Reikien, halkeamien ja pienten painumien korjausta.
1. Aluepaikkaus	Vähintään kaistan levyistä esim. karhinta+40 kg/m ² korkeintaan 200 m/km
2. AP+m.vaihto	Paikkausta kuten toimenpiteessä 1 ja rakenteen vaurioiden korjausta esim. suodatin kangas+massan vaihto
3. Pintaus	Karhinta + 80-100 kg/m ² uutta Ös/ÖsRC/ÖsK-massaa
4. RP	Rakenteen parantaminen

Suoritettut toimenpiteet jakautuivat otosteilla seuraavasti.

Taulukko 6. Toimenpidejakauma otosteilla [km].

Toimenpide	1	2	3	4	5	6	7
Ab-tiet							
1989	19.0	24.0	37.0	119.0	89.0	6.0	11.0
1990	27.0	15.6	17.5	41.0	155	2.0	8.0
Ös-tiet							
1989	18.0	91.0	29.0	-			
1990	5.0	8.3	63.3	6.0			

Ab-teillä toimenpiteet painottuivat päällystämiseen ja Ös-teillä aluepaikkaukseen ja pintaukseen.

6.2. Toimenpiteiden vaikutus

HIPS-ohjelmistossa tarvitaan mallit myös eritasoisten hoito- ja kunnostustoimenpiteiden vaikutukselle tien kuntoon. Nämä vaikutukset määritellään siten, että mallitetaan tilannetta, jossa lähtötilana on kunto juuri ennen toimenpidettä ja lopputilana kunto vuosi toimenpiteen jälkeen. Tämän tyyppistä tietoa ei ole ollut aikaisemmin saatavilla, joten mallit on estimoitu Delphi-tekniikalla (Äijö & al. 1988).

OSA II: RAPPEUTUMISMALLIT

7. RAPPEUTUMISMALLIT

7.1. Yleistä

HIPS-ohjelmisto perustuu joukkoon erilaisia malleja, jotka ovat:

- ylläpitokustannusmallit
- ajokustannusmallit
- rappeutumismallit
- toimenpiteiden vaikutusmallit

Ylläpitokustannusmallit on estimoitu toteutuneista toimenpiteistä ja niiden kustannuksista. Nämä on kuvattu HIPS-lähtötietoraportissa (Tiehallitus 1991). Ajokustannusmalleilla määrätään tien kunnan vaikutus ajokustannuksiin. Toimenpiteiden vaikutusmallit kuvaavat sitä, mitä tapahtuu, kun määrätyn kuntoiselle tielle tehdään jokin hoito- tai kunnostustoimenpide. Nämä mallit on estimoitu käyttäen Delphi-tekniikkaa, jossa asiantuntijaryhmä arvioi toimenpiteiden vaikutuksen. Näitä on esitelty raportissa (Äijö *et al.* 1988). Rappeutumismallit kuvaavat tien kunnan kehittymistä tilanteessa, jossa tielle ei tehdä muuta kuin rutiinihoitotoimenpiteitä. Nämä mallit kuvataan Ab-teiden osalta kappaleessa 8.4 ja Ös-teiden osalta kappaleessa 8.5.

7.2. Tutkimusaineisto

Rappeutumismallien estimointi perustuu otosteiltä vuosina 1989 ja 1990 tehtyihin havaintoihin (kantavuuden osalta myös vuodelta 1988). Ennen aineiston analysointia oli mittaustuloksia skaalattava samalle tasolle.

Kantavuusmittauksissa ollaan siirtymässä pelkästään pudotuspainolaitteen käyttöön. Otosteitä oli kuitenkin mitattu myös Benkelman-palkilla. Näitä Benkelman-palkilla tehty mittaukset skaalattiin vastaamaan pudotuspainolaitteella tehtyjä mittauksia kaavalla 1 (Ryynänen ja Belt 1991).

$$k_p = 2.149 * k_B^{0.7536} * ppaks^{0.1684} , \quad (1)$$

jossa k_B on Belkelman-palkilla mitattu kantavuus ja k_p vastaava pudotuspainolaitteen kantavuus sekä $ppaks$ päällysteen paksuus.

Palvelutasomittareilla mitattuja urasyvyvyyksiä korjattiin vuonna 1990 tehdyn vertailumittauksen (TIEH 1991a) perusteella siten, että VTT:n mittarin antamia arvoja skaalattiin vastaamaan tielaitoksen mittareita (vuosien 1989 ja 1990 mittaukset). Korjauksessa käytettiin kaavaa:

$$Ura = Ura_{VTT} * 0.876 - 2.080, \quad (2)$$

jossa Ura_{VTT} on VTT:n mittarin antama urasyvyys ja Ura korjattu urasyvyys.

Vauriotietoina käytettiin sekä piirien suorittamaa vaurioinventointia että palvelutasomittauksen yhteydessä tehtyä vaurioarviontia. Vaurioinventoinnin tuloksena lasketaan vauriosumma. Vaurioarvioinnin tuloksista lasketaan vaurio-% (ks. HIPS-lähtötietoraportti, TIEH 1991b).

7.2.1. Muuttujien luokkarajat

Mallien estimointia varten muuttujien arvot oli luokiteltava. HIPS-järjestelmässä kuntomuuttujat koodataan luokkiin siten, että paras luokka saa arvon nolla ja huonoin luokka arvon 2 (kantavuudelle 3 tai 4). Rappeutumismalleja muuttujille estimoitaessa on laskennallisten syiden takia käytettävä koodausta, jossa arvot vaihtelevat välillä 1...3 (kantavuudelle 1...4 (Ös) tai 1...5 (Ab)). Tätä koodausta sovelletaan tästä eteenpäin tässä raportissa.

Luokituksessa käytettiin rajoina HIPS-järjestelmän mukaisia luokkaraja.

Taulukko 7. Muuttujien luokkarajat 1991.

Alue

1	Piirit U, T, H, Ky ja V
2	Piirit M, PK, Ku, KS, KP, O, Ka ja L

Liikennemäärä [ajoneuvoa / vrk]

	Ab	Ös
1	yli 6000	yli 800
2	1500 - 6000	350 - 800
3	alle 1500	alle 350

Kantavuus [kevätkantavuus MN/m²]

Ab-tiet:			
kantavuus	KVL < 1 500	KVL 1500 - 6000	KVL > 6000
1	> 230	> 260	> 330
2	201 - 230	241 - 260	311 - 330
3	171 - 200	221 - 240	251 - 330
4	141 - 170	201 - 220	211 - 250
5	< 140	< 200	< 211
Ös-tiet:			
	KVL < 350	KVL >= 350	
1	> 184	> 199	
2	130 - 184	140 - 199	
3	120 - 129	125 - 139	
4	< 120	< 125	

Tasaisuus [IRI mm/m]

	Ab	Ös
1	< 1.5	< 2.0
2	1.5 - 3.49	2.0 - 3.49
3	3.5 -	3.5 -

Urat [mm]

	Ab	Ös (poikittainen epätasaisuus)
1	0 - 13	< 5.0
2	13.1 - 19.9	5.0 - 12.0
3	20.0 -	12.1 -

Vauriot - vaurioarviointi [%]

	Ab	Ös
1	0 - 0.9	< 5.0
2	1.0 - 20.0	5.0 - 20.0
3	20.1 -	20.1 -

Vauriot - vaurioinventointi [m²]

	Ab	Ös
1	< 15	< 24
2	15 - 58	24 - 53
3	> 58	> 53

Vauriosumman luokkarajojen muodostaminen on selitetty HIPS-lähtötietoportissa.

Tärkeä tehty oletus oli ettei tien kunto voi parantua ilman toimenpiteitä. Tämän ehdon takia jouduttiin joukko havaintopareja hylkäämään.

7.3. Mallien teoriaa

Siirtymätodennäköisyydet riippuvat tiellä tehtävistä toimenpiteistä. Kutakin toimenpidettä varten tarvitaan omat siirtymätodennäköisyydet

$$p(K_{t+1}, V_{t+1}, U_{t+1}, T_{t+1} | K_t, V_t, U_t, T_t), \quad (3)$$

jossa K on kantavuus, V vauriot, U urat (Ös-teillä uraisuus) ja T tasaisuus. Siirtymätodennäköisyysmatriisi (kuva 1) sisältää kullekin kuntoluokkapaarille todennäköisyyden, että vuoden t kuntoluokasta (K_t, V_t, U_t, T_t) siirrytään seuraavana vuonna kuntoluokkaan ($K_{t+1}, V_{t+1}, U_{t+1}, T_{t+1}$), ja koostuu 135x135 (Ös-teillä 108*108) ruudusta.

	K ₁									K ₂									K ₃									K ₄									K ₅								
	v ₁			v ₂			v ₃			v ₁			v ₂			v ₃			v ₁			v ₂			v ₃			v ₁			v ₂			v ₃			v ₁			v ₂			v ₃		
	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₁	u ₂	u ₃			
v ₁	0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0		
K ₁ v ₂	0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0		
v ₃	0	0		0			0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
v ₁							0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0		
K ₂ v ₂							0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0		
v ₃							0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
v ₁													0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0		
K ₃ v ₂													0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0		
v ₃													0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
v ₁																																													
K ₄ v ₂																																													
v ₃																																													
v ₁																																													
K ₅ v ₂																																													
v ₃																																													

	T ₁	T ₂	T ₃
T ₁			
T ₂	0		
T ₃	0	0	

Kuva 1. HIPS-järjestelmän rappeutumismallin siirtotodennäköisyysmatriisin rakenne.

Kuvassa 1 esitetty matriisi kuvaa siirtymätodennäköisyyksiä, kun tiellä ei tehdä toimenpiteitä. Tässä lävistäjän alapuolella olevat todennäköisyydet voidaan asettaa nolliksi, koska tien kunto ei voi parantua ilman toimenpiteitä. Jos tiellä tehdään toimenpide, joka parantaa tien kuntoa, voivat vastaavassa siirtymätodennäköisyysmatriisissa puolestaan lävistäjän yläpuoliset todennäköisyydet olla nollia.

Siirtymätodennäköisyyksien estimoimiseksi jaetaan todennäköisyys (3) ehdollisten todennäköisyyksien tuloksi

$$p(K_{t+1}, V_{t+1}, U_{t+1}, T_{t+1} | K_t, V_t, U_t, T_t) = \\ p(K_{t+1} | K_t, V_t, U_t, T_t) \\ *p(V_{t+1} | K_t, V_t, U_t, T_t, K_{t+1}) \\ *p(U_{t+1} | K_t, V_t, U_t, T_t, K_{t+1}, V_{t+1}) \\ *p(T_{t+1} | K_t, V_t, U_t, T_t, K_{t+1}, V_{t+1}, U_{t+1}). \quad (4)$$

Näin kunkin kuntomuuttujan siirtymätodennäköisyyksiä voidaan tarkastella erikseen. Jako ehdollisten todennäköisyyksien tuloksi voidaan tehdä periaatteessa missä järjestyksessä tahansa; tässä esitetyn on ajateltu heijastavan kuntomuuttujien aikajärjestystä eli kantavuus muuttuu hitaimmin ja tasaisuus nopeimmin. Lauseke (4) on vasta identiteetti, josta havaintoaineistosta estimoitavat mallit tuovat esiin todella ilmiöön vaikuttavat selittäjät eli ehtomuuttujat. Todennäköisyydet riippuvat lisäksi myös alueesta ja liikennemääräluokasta.

Kukin ehdollisista todennäköisyyksistä $p(M_{t+1} | M_t, \dots)$ vaurioille, urille ja tasaisuudelle voidaan esittää osamatriisina

		M_{t+1}		
$p(M_{t+1} M_t, \dots)$		1	2	3
M_t	1	P_{11}	P_{12}	P_{13}
	2	0	P_{22}	P_{23}
	3	0	0	1

jossa M on mikä tahansa muuttujista V , U tai T . Kantavuudelle voidaan kirjoittaa vastaava 5x5-matriisi.

Lukujen p_{ij} estimoimiseksi tarvitaan kaksi mallia, toinen ehdolla $M_t=1$ ja toinen ehdolla $M_t=2$. Jälkimmäisessä tapauksessa todennäköisyydet p_{22} ja p_{23} ($p_{22}=1-p_{23}$) jakautuvat binomijakauman mukaisesti. Sopiva yksinkertainen tilastollinen malli tällaiselle selitettävälle muuttujalle on logistinen regressiomalli

$$\log(p/(1-p)) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k, \quad (5)$$

jossa x_1, \dots, x_k ovat mallin selittäjiä ja $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ tuntemattomia havaintoaineiston perusteella estimoitavia parametreja. Logistinen regressiomalli on eräs yleistetty lineaarinen malli, joka vastaa tavallista lineaarista regressiomallia. Logistisessa mallissa on otettu huomioon, että selitettävä (todennäköisyys p) voi saada arvoja vain nollan ja ykkösen väliltä. Tapauksessa $M_t=1$ todennäköisyydet p_{11} , p_{12} ja p_{13} jakautuvat multinomijakauman mukaisesti. Myös tässä tapauksessa yleistettyjen lineaaristen mallien joukosta löytyy sopiva mallityyppi. Koska kuntoluokat muodostavat järjestetyn joukon ($M=1$ on paras, $M=2$ keskimäinen ja $M=3$ huonoin kuntoluokka), on sopiva malli ns. ordinaalisen asteikon logit-malli

$$\log(\Theta_j/(1-\Theta_j)) = \delta_j - (\beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k), \quad (6)$$

jossa $j=1,2$, $\Theta_1=p_{11}$, $\Theta_2=p_{11}+p_{12}$, muuttujat x_1, \dots, x_k ovat mallin selittäjiä ja $\delta_1, \delta_2, \beta_1, \dots, \beta_k$ tuntemattomia estimoitavia parametreja.

Todennäköisyyksiä (2) estimoidessa relevantit selittäjäehdokkaat x_1, \dots, x_k ovat kunkin muuttujan kohdalla ehtomuuttujat (esim. vaurioitumisen selittäjinä tulevat kyseeseen kantavuusluokka K_t , uraluokka U_t ja tasaisuusluokka T_t) sekä liikennemääräluokka ja alue. Tässä käytettyä menetelmää kuvaavat tarkemmin viitteet McCullagh *et al.* (1983) ja SAS (1990).

7.4. Malliesimerkki

Seuraavalla esimerkillä kuvataan, kuinka aineistosta estimoitu malli voidaan muuttaa siirtotodennäköisyyksiksi:

Esimerkkinä käytetään öljysoratiemallia poikittaiselle epätasaisuudelle lähtötilan (U) ollessa $U=2$. Estimoitava poikittaisen epätasaisuuden malli vastaa kaavan (4) neljättä riviä muodossa

$$p(U_{t+1}=2 \mid K_t, V_t, U_t=2, T_t, K_{t+1}, V_{t+1}).$$

Tehtävänä on siis estimoida luokassapysymistodennäköisyys, jonka avulla voidaan estimoinnin jälkeen laskea luokasta siirtymistodennäköisyys $p_{23}=1-p_{22}$. Estimoinnin tuloksena saadaan malli (7 ja 8):

Malli:

$$\hat{y} = 4.64 - 0.78 K_t \quad (7)$$

missä

$$\hat{y} = \text{logit}(\hat{p}/(1-\hat{p})). \quad (8)$$

ja \hat{p} = todennäköisyys säilyä luokassa 2.

Tulokset esitetään taulukon muodossa:

<i>muuttuja</i>	<i>estimaatti</i>	<i>hajonta</i>	<i>Waldin χ^2</i>	<i>$p(\chi^2)$</i>
vakio	4.64	1.07	18.8	0.0001
K_t	-0.78	0.29	7.2	0.0072

Mallin suurimman uskottavuuden tunnusluku $-2\log L = 9.8$, riskitaso eli virhepäätelmän todennäköisyys $p < 0.004$ ja selitysaste 72 %.

Uraisuuden rappeutuminen riippuu siis kantavuusluokasta. Kun kantavuusluokka kasvaa (kantavuus heikkenee) pienenee \hat{y} ja edelleen \hat{p} pienenee (eli rappeutuminen nopeutuu).

Malli on muodostettu siten, että selittäjät on aluksi valittu askeltavalla menetelmällä. Näin saatua mallia on edelleen tutkittu ja tarkennettu. Riskitasona on käytetty 5%:a. Yksittäisten selittäjien hyvyys on testattu Waldin χ^2 -testisuureella, joka testaa kertoimen estimaatin poikkeamista nolasta. Suuri χ^2 :n arvo ilmaisee siis merkitsevää kerrointa. Sama informaatio nähdään sarakkeesta $p(\chi^2)$, joka ilmaisee χ^2 -testisuuren todennäköisyyttä eli todennäköisyyttä tehdä virhepäätelmä. Selitysaste R^2 kertoo mallin selittämän osuuden aineiston kokonaisvaihtelusta. Suurimman uskottavuuden testisuure kuvaa mallin kokonaishyvyyttä testaamalla, poikkeavatko kaikki mallin kertoimet merkitsevästi nolasta.

Mallista saadaan todennäköisyydet kantavuusluokan eri arvoille seuraavasti

$$K_t = 1 \Rightarrow \hat{y} = 4.64 - 0.78 K_t = 3.86.$$

Kun ratkaistaan \hat{p} kaavasta (8), saadaan

$$\hat{p} = \exp(\hat{y}) / (1 + \exp(\hat{y})) \quad (9)$$

Kun tähän sijoitetaan $\hat{y} = 3.86$, saadaan tulokseksi

$$p(U_{t+1} = 2 \mid U_t = 2 \text{ ja } K_t = 1) = 0.979$$

Vastaavasti voidaan laskea muille kantavuusluokille 2, 3 ja 4, jolloin saadaan yhteensä

$$\begin{aligned} p(U_{t+1} = 2 \mid U_t=2 \text{ ja } K_t=1) &= 0.979 & p(U_{t+1} = 3 \mid U_t=2 \text{ ja } K_t=1) &= 0.021 \\ p(U_{t+1} = 2 \mid U_t=2 \text{ ja } K_t=2) &= 0.956 & p(U_{t+1} = 3 \mid U_t=2 \text{ ja } K_t=2) &= 0.044 \\ p(U_{t+1} = 2 \mid U_t=2 \text{ ja } K_t=3) &= 0.909 & p(U_{t+1} = 3 \mid U_t=2 \text{ ja } K_t=3) &= 0.081 \\ p(U_{t+1} = 2 \mid U_t=2 \text{ ja } K_t=4) &= 0.821 & p(U_{t+1} = 3 \mid U_t=2 \text{ ja } K_t=4) &= 0.179. \end{aligned}$$

7.5. Ab-teiden mallit

Ensimmäisen HIPS-version siirtymätodennäköisyysmallit asfalttiteille on raportoitu Olsosen raportissa (1988). Ne perustuvat vanhaan (1982-1985) VTT:n keräämään aineistoon, jossa ainoana on ollut peräkkäisten vuosien mittaustuloksia. Nyt kahden vuoden palvelutasomittaustulosten valmistuttua otosteiltä on mahdollista estimoida luotettavammat mallit.

Kantavuussiirtymien estimointiin nyt kerätty aineisto ei vielä anna mahdollisuutta, koska kantavuuden muuttuminen on hidasta.

Urien kohdalla taas mitä ilmeisin toimenpiteiden puutteellinen raportointi estää uusien mallien muodostamisen.

Tämä puute vaikeuttaa tietenkin myös vaurioiden ja tasaisuuden siirtymien estimointia, mutta koska juuri näiden kuntomuuttujien vanhat mallit olivat puutteellisimmat ja näiden uusi aineisto on verrattain järkevää, päätettiin estimoida uudet mallit vaurioiden ja tasaisuuden siirtotodennäköisyyksille.

Ab-teiden mallien riippuvuudet on kerätty taulukkoon 9.

Taulukko 9. Ab-teiden mallien riippuvuudet. Taulukossa + tarkoittaa negatiivista riippuvuutta (kun selittäjän arvo kasvaa (luokka) niin selitettävä paranee so. tilassapysymistodennäköisyys kasvaa) ja - merkitsee positiivista riippuvuutta, nolla (0) tarkoittaa ettei riippuvuutta havaittu.

		Selittäjät					
Malli		Alue	KVL	Kantavuus	Vauriot	Urat	Tasaisuus
Kantavuus		0	0	x	0	0	0
Vauriot	1 -> 123	+	-	-	x	0	-
	2 -> 23	0	-	0	x	0	-
Urat	1 -> 12					x	
	2 -> 23					x	
Tasaisuus	1 -> 12	+	-	-	-	0	x
	2 -> 23	0	0	-	-	0	x

7.5.1. Vauriomalli

Aineistosta löytyy 6144 havaintoa, jotka kesän 1989 mittauksissa olivat vaurioluokassa 1. Vaurioluokkaan 2 vuonna 1989 sijoittui 610 havaintoa. Havaitut siirtymät esitetään seuraavassa talukossa.

Taulukko 10. Vaurioiden lähtötilanne (frekvenssit ja rivi prosentit).

	1	2	3	
1	5222 (85.0)	799 (13.0)	123 (2.0)	6144
2	0	488 (80.0)	122 (20.0)	610
3	0	0	153 (100)	153

Alustavan tarkastelun perusteella todettiin, että

- alueiden välillä ei ole suurta eroa
- siirtymät luokasta 1 lisääntyvät selvästi kantavuuden heiketessä
- siirtymissä luokasta 2 on eroja kantavuuden suhteen, muttei mitään trendiä
- liikennemäärän vaikutus siirtymiin on erittäin selvä
- urien suhteen on selvästi eroa etenkin luokasta 2 siirtymissä
- tasaisuuden heikkeneminen lisää vaurioitumista

Malleja estimoitaessa tutkittiin myös eri selittäjien yhdysvaikutuksia, mutta yhtään tilastollisesti merkitsevää yhdysvaikutusta ei löytynyt, mikä tarkoittaa, että selittäjät vaikuttavat siirtymiin kukin toisistaan riippumatta.

Siirtymät luokasta 1

Aluksi etsittiin ordinaalista mallia askeltavalla menetelmällä. Osoittautui, että ordinaalinen mallimuoto kuvaa hyvin vaurioiden siirtymiä luokasta 1. Tämä merkitsee, että selittäjien vaikutus on samansuuruinen sekä todennäköisyyteen p_{11} että todennäköisyyteen $p_{11}+p_{12}$; näissä todennäköisyyksissä on vain tasoero.

Malliin saatiin selittäjiksi kvl-luokka, kantavuus, tasaisuus ja alue (tässä järjestyksessä).

Myös uraluokka tuli mukaan mutta sen kerroin oli epälooginen (suuremmat urat vähentäisivät vaurioitumista). Koska myöskään uraluokan vaikutus ei ollut erittäin merkitsevä ja toisaalta jo aikaisemmin oli todettu urahavaintojen epäluotettavuus, päätettiin tämä selittäjä jättää pois mallista. Alue ei myöskään vaikuta mallin selitysvoiimaan mitenkään ratkaisevasti, mutta koska sen kerroin on tilastollisesti merkitsevä ja looginen, päätettiin se pitää mukana.

Jäännöstermien tarkastelua ei valitettavasti voitu suorittaa ohjelmassa ilmenneiden rajoitusten vuoksi.

Lopullisesti valitun mallin suurimman uskottavuuden testitunnusluku $-2 \cdot \log(L) = 303.8$ neljällä vapausasteella, mikä tarkoittaa varsin hyvää

sovitetta ($p=0.0001$). Myös suhteellisten osuuksien oletuksen testitunnusluku ($\chi^2 = 3.9$ neljällä vapausasteella, $p=0.42$) osoittaa mallin kelvolliseksi. Selittäjien kerroinestimaatit ja niiden testitunnusluvut ovat

Taulukko 11. Vaurioluokassa 1 pysymistodennäköisyyden logitfunktion estimaatti Ab-teillä [$p(v_{t+1} = 1 \mid v_t = 1)$].

muuttuja	estimaatti	hajonta	Waldin χ^2	$p(\chi^2)$
vakio1	3.83	0.24	264.3	0.0001
vakio2	5.96	0.25	566.6	0.0001
kvlluok	-0.634	0.052	151.7	0.0001
K_t	-0.294	0.026	133.3	0.0001
T_t	-0.287	0.072	15.9	0.0001
alue	0.213	0.88	5.83	0.016

Vaurioluokassa 1 pysymistodennäköisyys [$p(v_{t+1} = 1 \mid v_t = 1)$] on siis

$$p_{11} = \exp(vp1)/(1+\exp(vp1)) , \quad (10)$$

jossa

$$vp1 = 3.83+0.213*alue-0.634*kvlluok-0.294*K_t-0.287*T_t . \quad (11)$$

Kumulatiivinen todennäköisyys pysyä luokassa 1 tai siirtyä luokkaan 2 eli $p_{11}+p_{12} = \exp(vp2)/(1+\exp(vp2))$, jossa

$$vp2 = 5.96+0.213*alue-0.634*kvlluok-0.294*K_t-0.287*T_t . \quad (12)$$

Koska tämä malli on ordinaalinen, ei sille voida esittää selitysasastetta R^2 .

Siirtymät luokasta 2

Jos tie on jo vaurioluokassa 2, se voi joko pysyä siinä (todennäköisyydellä p_{22}) tai siirtyä huonoimpaan luokkaan 3 (todennäköisyydellä p_{23}), joten ilmiön kuvaamiseen riittää tavallinen logistinen malli todennäköisyydelle p_{22} ($p_{23} = 1 - p_{22}$).

Malliin saatiin askeltavalla menetelmällä selittäjiksi tasaisuus ja kvl-luokka. Jäännöstermien tarkastelu osoitti, että aineistossa on toistakymmentä havaintoa, jotka vaikuttavat voimakkaasti malliin. Ne osoittautuivat täysin kelvollisiksi havainnoiksi, joten ne luokiteltiin arvokkaiksi "harvinaisiksi kombinaatioiksi" ja annettiin olla mukana mallissa.

Mallin suurimman uskottavuuden testitunnusluku $-2 \cdot \log(L) = 13.9$ kahdella vapausasteella, joka on jälleen oikein hyvä sovite ($p=0.0009$). Mallin selitysaste R^2 on 81%. Selittäjien kerroinestimaatit ja niiden testitunnusluvut ovat

Taulukko 12. Vaurioluokassa 2 pysymistodennäköisyyden logitfunktion estimaatti Ab-teillä [$p(v_{t+1} = 1 \mid v_t = 1)$].

muuttuja	estimaatti	hajonta	Waldin χ^2	$p(\chi^2)$
vakio	3.54	0.62	33.1	0.0001
kvlluok	-0.405	0.17	5.60	0.018
T_t	-0.594	0.22	7.25	0.0071

Vaurioluokassa 2 pysymistodennäköisyys on siis $P_{22} = \exp(vp2)/(1+\exp(vp2))$, jossa

$$vp2 = 3.54 - 0.594 \cdot T_t - 0.405 \cdot kvlluok. \quad (11)$$

7.5.2. Tasaisuusmalli

Aineistosta löytyy 2319 havaintoa, jotka kesän 1989 mittauksissa olivat tasaisuusluokassa 1. Tasaisuusluokkaan 2 vuonna 1989 sijoittui 4128 havaintoa. Havaitut siirtymät ovat seuraavassa taulukossa.

Taulukko 13. Vaurioiden lähtötilanne (frekvenssit ja riviprosentit).

	1	2	3	
1	1663 (71.7)	649 (28.0)	7 (0.3)	2319
2	0	4004 (97.0)	124 (3.0)	4128
3	0	0	205 (100)	205

Alustavassa tarkastelussa havaittiin, että

- alueiden välillä on eroa vain tasaisuusluokasta 1 siirtymissä: etelässä siirtyminen on nopeampaa
- liikennemäärän suhteen eroja ei ole; vain siirtymät luokasta 1 ovat hieman hitaampia kvlluokassa 3 kuin muissa
- siirtymät luokasta 1 vähenevät urasyvyyden kasvaessa, tosin uraluokissa 2 ja 3 on niin vähän havaintoja, että varmaa kuvaa asiasta ei voi muodostaa
- vaurioiden lisääntyminen nopeuttaa voimakkaasti tasaisuuden siirtymiä kaikista luokista

Malleja estimoitaessa tutkittiin myös eri selittäjien yhdysvaikutuksia, mutta yhtään tilastollisesti merkitsevää yhdysvaikutusta ei löytynyt, mikä tarkoittaa, että selittäjät vaikuttavat siirtymiin kukin toisistaan riippumatta.

Siirtymät luokasta 1

Aluksi etsittiin ordinaalista mallia askeltavalla menetelmällä. Osoittautui, että aineisto ei riitä ordinaalisen mallin estimointiin (siirtymiä luokasta 1 luokkaan 3 oli 8 kpl eli 0.34%). Todennäköisyyden p_{13} estimaattina käytetäänkin tätä keskiarvoa kaikilla selittäjien arvoilla ja estimoidaan tavallinen logistinen regressiomalli todennäköisyyksille p_{11} ja p_{12} .

Ensimmäisessä askeltavalla menetelmällä tehdyssä ajossa malliin saatiin selittäjiksi kantavuus, alue, urat, vauriot ja kvl-luokka (tässä järjestyksessä). Mallin vakiotermi oli epätarkka ja urien kerroin positiivinen. Poikkeavia havaintoja löytyi tällä kertaa kymmenen. Niiden poisjätö olisi pudottanut mallista myös urat. Koska itse havainnot olivat kelvollisia ja ensimmäisen mallin urakerroin epälooginen, estimoitiin lopullinen malli kaikista havainnoista ja jätettiin urat sekä vakiotermi pois.

Tämän mallin suurimman uskottavuuden testitunnusluku $-2 \cdot \log(L) = 570.2$ neljällä vapausasteella, $p=0.0001$, joten malli tässä suhteessa on oikein hyvä. Mallin selitysaste R^2 on 55%. Selittäjien kerroinestimaatit ja niiden testitunnusluvut ovat

Taulukko 14. Tasaisuusluokassa 1 pysymistodennäköisyyden logitfunktion estimaatti Ab-teillä [$p(t_{t+1} = 1 \mid t_t = 1)$].

muuttuja	estimaatti	hajonta	Waldin χ^2	$p(\chi^2)$
kvlluok	0.158	0.059	7.27	0.0070
K_t	-0.297	0.038	62.1	0.0001
V_t	-0.380	0.144	6.92	0.0085
alue	0.902	0.091	98.3	0.0001

Vaurioluokassa 1 pysymistodennäköisyys on siis

$$p_{11} = 0.9966 \cdot \exp(tp1) / (1 + \exp(tp1)), \quad (12)$$

jossa

$$tp1 = 0.902 \cdot \text{alue} - 0.158 \cdot \text{kvlluok} - 0.297 \cdot K_t - 0.380 \cdot V_t. \quad (13)$$

Todennäköisyys siirtyä luokkaan 2 eli $p_{12} = 0.9966 \cdot (1 - p_{11})$ ja siirtymätodennäköisyys luokkaan 3 on vakio, $p_{13} = 0.0034$.

Siirtymät luokasta 2

Logistinen regressiomalli tasaisuuden pysymistodennäköisyydelle luokassa 2 eli p_{22} estimoitii askeltavalla menetelmällä ja selittäjiksi valikoituivat vauriot ja kantavuus. Jäännöstermitarkastelussa löytyi viisi erittäin vaikuttavaa havaintoa, joiden poisjättö muutti kerroinestimaatteja huomattavasti, mutta jälleen malliin tulivat samat selittäjät ja havainnot eivät osoittautuneet virheellisiksi. Saatua mallia voidaan siis pitää varsin hyvänä.

Mallin suurimman uskottavuuden testitunnusluku $-2 \cdot \log(L) = 52.7$ kahdella vapausasteella ($p=0.0001$). Mallin selityssaste R^2 on 79%. Selittäjien kerroinestimaatit ja niiden testitunnusluvut ovat

Taulukko 15. Tasaisuusluokassa 2 pysymistodennäköisyyden logitfunktion estimaatti Ab-teillä [$p(t_{i+1} = 2 \mid t_i = 2)$].

muuttuja	estimaatti	hajonta	Waldin χ^2	$p(\chi^2)$
vakio	5.13	0.26	387.2	0.0001
K_t	-0.255	0.060	17.9	0.0001
V_t	-0.718	0.13	28.5	0.0001

Tasaisuusluokassa 2 pysymistodennäköisyys on siis

$$p_{22} = \exp(tp2) / (1 + \exp(tp2)) , \quad (14)$$

jossa

$$tp2 = 5.13 - 0.718 \cdot V_t - 0.255 \cdot K_t. \quad (15)$$

7.6. Ös-Mallit

7.6.1. Ös-teiden mallien vaikutussuhteet

Taulukossa 14 on esitetty Ös-tie-aineistosta havaitut riippuvuudet. Samoin kuin Ab-mallien yhteydessä - merkitsee tässä positiivista riippuvuutta ja + negatiivista

Taulukko 16. Ös-teiden mallien vaikutussuhteet.

		Selittäjät					
Malli		Alue	KVL	Kantavuus	Vauriot	Uraisuus	Tasaisuus
Kantavuus		0	0	x	0	0	0
Vauriot	1 -> 123	+	-	-	x	-	-
	2 -> 23	0	-	0	x	0	-
Uraisuus	1 -> 12	-	-	-	-	x	-
	2 -> 23	0	0	-	0	x	0
Tasaisuus	1 -> 12	0	-	-	-	0	x
	2 -> 23	0	0	-	-	-	x

7.6.2. Kantavuusmalli

Öljysorasteiden kantavuusmallit on alunperin muodostettu Talvitien ja Virenin estimoimista malleista (1986). Ensimmäiset versiot malleista estimoitiin vuonna 1988 ja niissä kantavuuden rappeutuminen osoittautui suhteellisen hitaaksi. Nyt tehdyn mallipäivityksen aikana tätä on tutkittu tarkemmin ja malleista on tehty enemmän käytäntöä vastaavat.

Uudet mallit perustuvat seuraaviin lähtökohtiin:

- käytetään Talvitien ja Virenin estimoimia seudullisten teiden malleja.
- jatkuva kantavuusmalli Ös-teillä on jokseenkin lineaarinen välillä 200-100 MN, jolloin voidaan olettaa, että kantavuus heikkenee joka vuosi suunnilleen yhtä paljon
- kantavuus huononee keskimäärin 2.5 MN/vuosi (Talvitien ja Virenin seudullisen mallin mukaan)
- HIPS:in yhden kantavuusluokan keskimääräinen ylitys tarkoittaa sitä hetkeä, kun luokassa on jäljellä 50 prosenttia.

Edellisten oletusten perusteella saadaan malleiksi seuraavat:

KVL alle 350:

	1	2	3	4
1	97	3	0	0
2	0	97	3	0
3	0	0	84	16
4	0	0	0	100

KVL yli 350:

	1	2	3	4
1	96	4	0	0
2	0	95	5	0
3	0	0	89	11
4	0	0	0	100

Malli vastaa todellista tilannetta varsin hyvin, sillä suunnittelukantavuuden mukainen rappeutuminen toteutuu suunnilleen edellisten matriisien mukaan. Rappeutuminen on myös hieman kiihtyvää tien kunnan heikentyessä, mikä myös vastaa ennakkokäsityksiä.

Mallin puutteeksi voidaan todeta, että kantavuuden rappeutuminen ei riipu muista kuntomuuttujista. Ennakkokäsitysten mukaan ainakin vaurioiden ja osin tasaisuudenkin pitäisi vaikuttaa kantavuuden heikkenemiseen. Nämä asiat pyritään ottamaan huomioon, kunhan saadaan kantavuusmittaus-tietoa otosteiltä useammalta vuodelta. Nyt käytössä oleva otostieaineisto ei ole vielä tarpeeksi luotettava kantavuuden muutoksen estimointiin.

7.6.3. Tasaisuusmalli

Käytössä olevasta otostieaineistosta saadaan seuraava reunajakaumataulukko, joka kuvaa tasaisuuden rappeutumista ilman selittäviä muuttujia.

Taulukko 17. Tasaisuuden lähtötilanne (frekvenssit ja riviprosentit).

	1	2	3	
1	1527 (75.9)	482 (24.0)	3 (0.1)	2012
2	0	2815 (87.3)	408 (12.7)	3223
3	0	0	908 (100)	908

Siirtymät luokasta 1

Taulukosta nähdään, että luokasta 1 on siirtynyt vuodessa luokkaan 3 vain 3 kappaletta 100 metrin havaintoja. Tämä on varsin pieni määrä joten sen mallintaminen ordinaalisella mallilla on epävarmaa. Tämän vuoksi oletetaan, että siirtymä luokasta 1 mallitetaan luokkiin 1 ja 2 ja luokkaan 3 jätetään vakiosiiirtymä, joka saadaan koko aineiston keskiarvosta ($=0.002$).

Sopiva malli etsittiin askeltavalla menetelmällä, missä selittäjien mukaanotto- ja poistokriteerinä käytettiin arvo $p=0.05$. Näin saatu malli on seuraavanlainen:

Taulukko 18. Tasaisuusluokassa 1 pysymistodennäköisyyden logitfunktion estimaatti Ös-teillä $[p(t_{t+1} = 1 \mid t_t = 1)]$.

muuttuja	estimaatti	hajonta	Waldin χ^2	$p(\chi^2)$
vakio	2.78	0.21	178.4	0.0001
k_t	-0.41	0.05	56.7	0.0001
kvlluok	-0.23	0.07	11.3	0.0008
v_t	-0.32	0.10	9.7	0.0018

Mallin uskottavuuden tunnusluku $-2 \cdot \log(L)$ on 87.1 kolmella vapausateella, mikä vastaa hyvää sovitetta ($p=0.0001$). Mallin selitysaste R^2 on 60%.

Mallilla saatavat todennäköisyydet voidaan laskea esimerkin 7.4 mukaisesti.

Mallin kaikki kertoimet ovat merkitseviä ja niiden etumerkit ovat kaikki negatiivisia. Malli toimii loogisesti, sillä tasaisuuden rappeutuminen kiihtyy kantavuuden heikentyessä sekä vaurioiden ja liikenteen lisääntyessä.

Siirtymät luokasta 2

Tasaisuusluokassa 2 pysyminen voidaan kuvata tavallisella logistisella mallilla, sillä vaihtoehtoja on vain 2 (pysyy/huononee luokkaan 3).

Askelavalla menetelmällä valittu malli on seuraavanlainen:

Taulukko 19. Tasaisuusluokassa 2 pysymistodennäköisyyden logitfunktion estimaatti Ös-teillä $[p(t_{t+1} = 2 \mid t_t = 2)]$.

muuttuja	estimaatti	hajonta	Waldin χ^2	$p(\chi^2)$
vakio	3.80	0.24	243.3	0.0001
k_t	-0.31	0.05	38.5	0.0001
v_t	-0.26	0.06	16.7	0.0001
u_t	-0.60	0.18	11.0	0.0009

Mallin uskottavuuden tunnusluku on nyt 82.7, mikä on tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p<0.0001$). Mallin selitysaste R^2 on 68%. Mallin on siis hyvä.

Vakiota lukuunottamatta kaikkien selittäjien kertoimet ovat negatiivisia eli tasaisuuden rappeutuminen on voimakkaampaa kantavuuden, vaurioiden ja uraisuuden heikentyessä. Tämä vastaa käytännön tilannetta.

7.6.4. Poikittaisen epätasaisuuden malli

Käytössä olevasta otostieaineistosta saadaan seuraava reunajakaumataulukko, joka kuvaa poikittaisen epätasaisuuden rappeutumista ilman selittäviä muuttujia.

Taulukko 20. Poikittaisen epätasaisuuden lähtötilanne.

	1	2	3	
1	5950 (92.2)	499 (7.7)	7 (0.1)	6456
2	0	192 (88.1)	26 (11.9)	218
3	0	0	13 (100.0)	13

Siirtymät luokasta 1

Tähän tilanteeseen voitaisiin estimoida jälleen ordinaalinen malli, mutta koska siirtymiä luokkaan 3 on vain 7 kappaletta (0.1 %), ei mallista tule luotettavaa. Tämän vuoksi oletetaan jälleen siirtymä luokkaan 3 vakioksi ja estimoidaan normaali logistinen regressio. Askeltavalla menetelmällä saadut tulokset ovat seuraavat:

Taulukko 21. Poikittaisen epätasaisuuden luokassa 1 pysymistodennäköisyyden logitfunktion estimaatti Ös-teillä [$p(u_{t+1} = 1 \mid u_t = 1)$].

muuttuja	estimaatti	hajonta	Waldin χ^2	$p(\chi^2)$
vakio	8.76	0.50	306.6	0.0001
alue	-1.64	0.23	52.1	0.0001
kvlluok	-0.23	0.06	12.3	0.0005
k_t	-0.25	0.05	29.5	0.0001
v_t	-0.57	0.06	95.1	0.0001
t_t	-0.53	0.08	41.7	0.0009

Mallin uskottavuuden tunnusluku on nyt 223.7, mikä on tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0.0001$, vapausasteita 5). Mallin selitysaste R^2 on 67%.

Vaurioiden estimaatti on varsin korkea, mikä osoittaa, että sillä on vahvin vaikutus. Muiden selittäjien kertoimet ovat kaikki negatiivisia eli malli on looginen.

Siirtymät luokasta 2

Aineistossa on suhteellisen vähän havaintoja. Kun estimoidaan logistinen regressio, saadaan vain kantavuus merkittäväksi selittäjäksi. Malli on seuraava:

Taulukko 22. Poikittaisen epätasaisuuden luokassa 2 pysymistodennäköisyyden logitfunktion estimaatti Ös-teillä [$p(u_{t+1} = 2 \mid u_t = 2)$].

muuttuja	estimaatti	hajonta	Waldin χ^2	$p(\chi^2)$
vakio	4.64	1.07	18.8	0.0001
k_t	-0.78	0.29	7.2	0.0072

Mallin uskottavuuden tunnusluku on 9.8, mikä on tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.004$). Mallin selitysaste R^2 on 72%.

Kantavuuden kerroin on negatiivinen eli poikittainen epätasaisuus lisääntyy nopeammin huonolla kantavuudella.

7.6.5. Vauriomalli

Käytössä olevasta otostieaineistosta saadaan seuraava reunajakaumataulukko, joka kuvaa vaurioiden rappeutumista ilman selittäviä muuttujia.

Taulukko 23. Vaurioiden lähtötilanne

	1	2	3	
1	3184 (69.2)	690 (15.0)	721 (15.8)	4595
2	0	277 (38.7)	438 (61.3)	715
3	0	0	1014 (100.0)	1014

Siirtymät luokasta 1

Tähän tilanteeseen voitiin estimoida ordinaalinen malli, sillä aineistossa oli riittävästi siirtymiä myös luokkaan 3 asti. Saadut tulokset ovat seuraavat:

Taulukko 24. Vaurioluokassa 1 pysymistodennäköisyyden logitfunktion estimaatti
Ös-teillä [$p(v_{t+1} = 1 \mid v_t = 1)$].

muuttuja	estimaatti	hajonta	Waldin χ^2	$p(\chi^2)$
vakio1	3.09	0.24	168.3	0.0001
vakio2	4.01	0.24	275.8	0.0001
alue	0.18	0.08	4.9	0.0276
kvlluok	-0.18	0.04	18.2	0.0001
k_t	-0.15	0.03	24.5	0.0001
t_t	-0.71	0.05	180.6	0.0001
u_t	-0.64	0.15	18.1	0.0001

Mallin uskottavuuden tunnusluku on 356.7, mikä on tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0.0001$, vapausasteita 5). Mallin on siis varsin hyvä. Malli on ordinaalinen, joten selitystasetta ei voi esittää.

Jälleen kaikkien kuntomuuttujien kertoimet ovat negatiivisia eli malli on looginen.

Siirtymät luokasta 2

Aineistossa havaittu siirtymä luokasta 2 luokkaan 3 on varsin korkea. Tämä on käytännössä kuitenkin mahdollista, sillä vaurioista voidaan olettaa rappeutumisen kiihtyvän sen jälkeen, kun ensimmäiset vauriot ovat ilmestyneet tielle. Kun estimoidaan logistinen regressio, saadaan

liikennemääräluokka ja tasaisuus merkittäviksi selittäjiksi. Malli on seuraava:

Taulukko 25. Vaurioluokassa 1 pysymistodennäköisyyden logitfunktion estimaatti
Ös-teillä [$p(v_{t+1} = 2 \mid v_t = 2)$].

muuttuja	estimaatti	hajonta	Waldin χ^2	$p(\chi^2)$
vakio	0.92	0.33	7.8	0.0051
kvlluok	-0.27	0.10	7.1	0.0076
t_t	-0.40	0.13	10.1	0.0015

Mallin uskottavuuden tunnusluku on 18.8, mikä on tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.001$, vapausasteita=2). Mallin selitysaste R^2 on 80%.

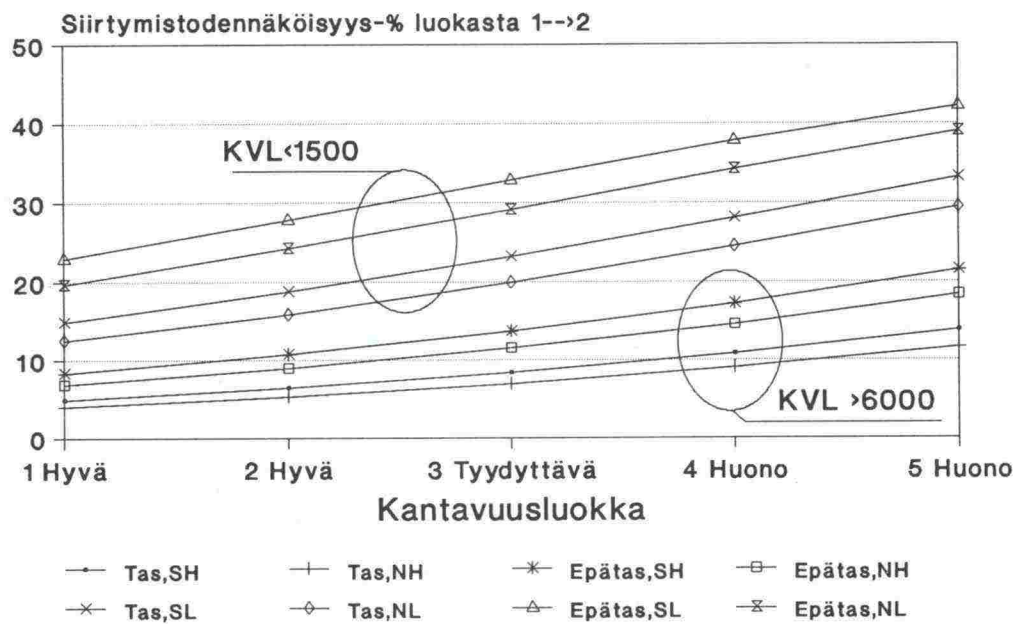
Tasaisuuden kerroin on negatiivinen eli vauriot lisääntyy nopeammin huonolla tasaisuudella. Tämä johtunee siitä, että ylemmän hoitoluokan teitä hoidetaan paremmin.

Kirjallisuusluettelo

- Cambridge Systematics Inc. (CSI) (1989). *Highway Investment Programming System; User's Manual*. Cambridge, MA.
- McCullagh, P. & N. A. Nelder (1983). *Generalized Linear Models*. London. Chapman-Hall.
- Männistö, V. (1987). Öljysorasteiden kuntoa kuvaavien muuttujien valinta. Julkaisematon raportti.
- Männistö, V. (1988). Öljysorasteiden rappeutumismallit. Julkaisematon raportti.
- Olsonen, R. (1988). Tieverkon ylläpitotarpeen ohjausjärjestelmä, kuntotiedot ja kuntomallit. TVH/Stk B1/1988.
- Ryynänen, T. & J. Belt (1991). Kantavuusmittauslaitteilla mitatut taipumat ja määritetyt kantavuudet asfalttipäällysteisillä teillä. Espoo. PANK ry./VTT. ASTO väliraportti TR 10. VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio n:o 832.
- SAS-instituutti (1990). *CALIS and LOGISTICS Procedures*. Cary NC., SAS Institute. SAS Technical Report P-200.
- Talvitie, A. & R. Viren (1985). Teiden kantavuuden väheneminen kuormituskertaluvun funktiona. TVH, muistio.
- Talvitie, A. ja R. Olsonen (1988). Selecting Asphalt Concrete States for Finland's Highways. 76th Annual Meeting of TRB, Washington, DC.
- Talvitie, A., R. Tapio, R. Olsonen, J. Äijö ja M. Miettinen (1988). Tieverkon ylläpidon ohjausjärjestelmä 1. Yleiset perusteet, 2. Tien kunnan arviointi, 3. Tuotannon optimointi, 4. Toimenpiteiden vaikutuksen arviointi, 5. Järjestelmäkuvaus. Artikkelisarja *Tie ja Liikenne*-lehteen lokakuu 88 - maaliskuu 89;
- Thompson, P., R. Olsonen, A. Talvitie ja R. Tapio (1989). A Micro-computer Markov Model for Optimal Pavement Rehabilitation Policy. Teoksessa *Selected Proceedings of The Fifth World Conference on Transportation Research*, vol. 1. Yokohama 1989. Ventura, CA. Western Periodicals. 375-389.
- Tiehallitus (1991a). *Palvelutasomittarien vertailumittaukset 1990*. Helsinki. Tiehallitus. Tielaitoksen selvityksiä 8/1991.
- Tiehallitus (1991b). *Tieverkon ylläpidon ohjausjärjestelmät: HIPS-ohjelmiston lähtötiedot ja perustulokset 1991*. Helsinki. Tiehallitus. Tielaitoksen selvityksiä 54/1991.
- Äijö, J., R. Tapio, V. Männistö & P. Thompson (1990). Minimum of social cost as a guideline of Finnish pavement management. Proceeding at PTCR annual Summer meeting 1990, Brighton, England.

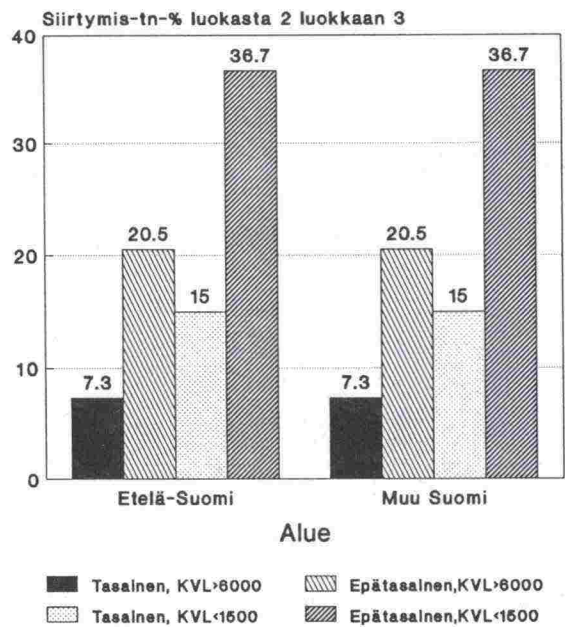
LIITE 1. Esimerkkejä Ab-teiden rappeutumismalleista (4 s).
Kohdassa 7.5.1. esitetty vauriomalli (tilasiirtymille
vaurioluokista 1 ja 2).

AB-TIEN VAURIOITUMISMALLI p12



HIPS2-vaurioitumismallit/SYYS91

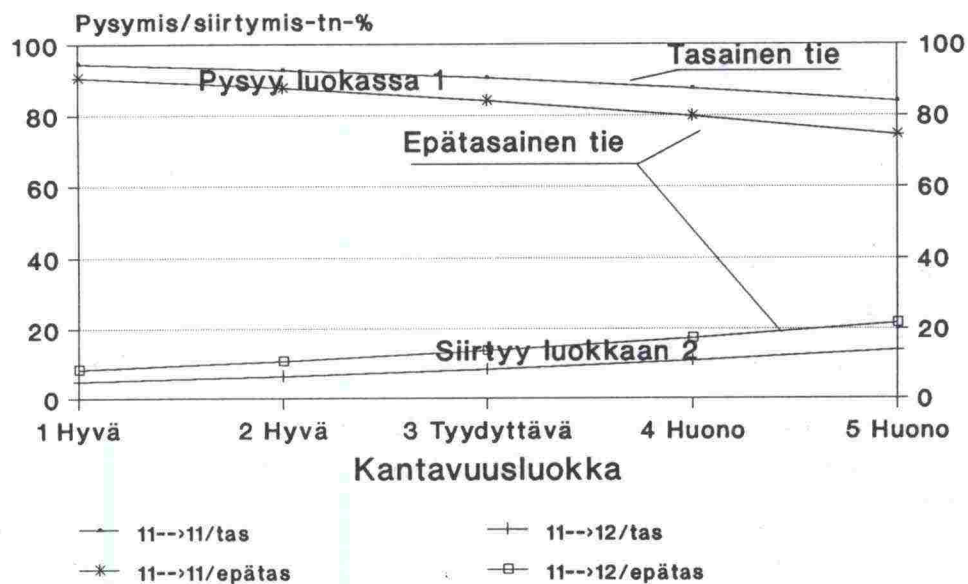
AB-TEIDEN VAURIOITUMISMALLIT
Kaikissa kantavuussluokissa



HIPS2-vaurioitumismallit/SYYS91

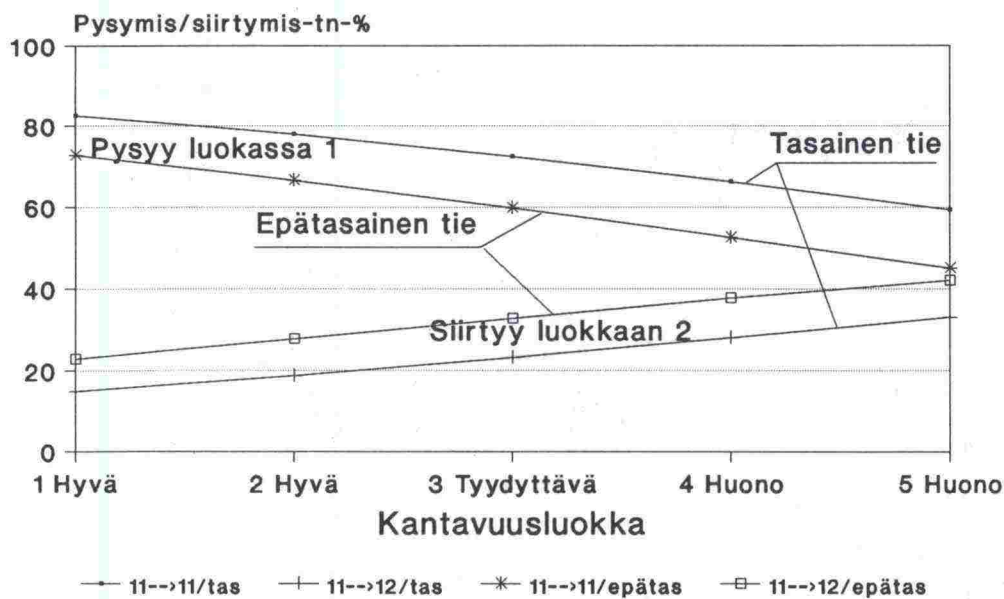
Kohdassa 7.5.1. esitetty vauriomalli Etelä-Suomen Ab-tiestölle.

AB-TIEN VAURIOITUMISMALLI p11-->p11/p12 ETELÄ-SUOMI, KVL>6000



HIPS2-vaurioitumismallit/SYYS91

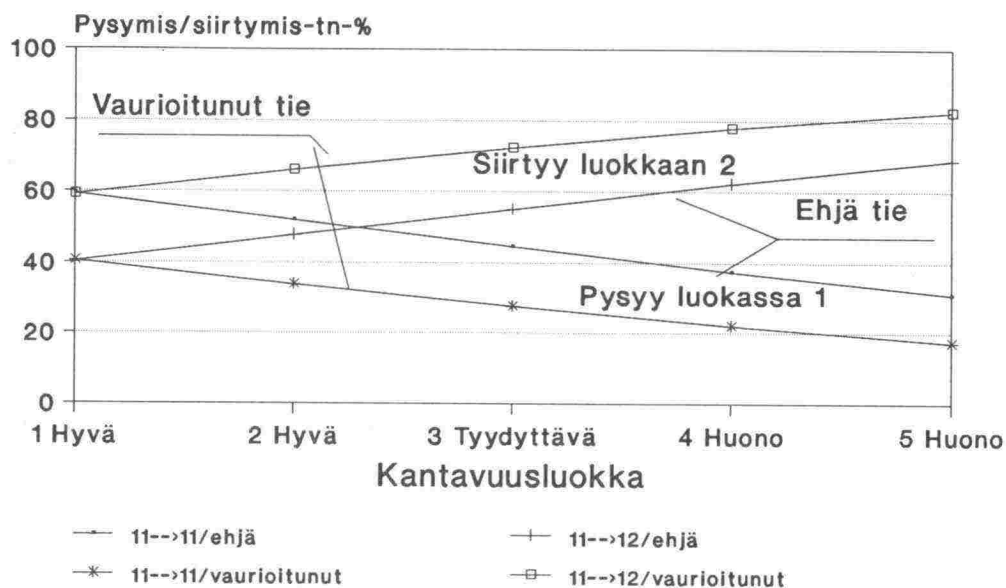
AB-TIEN VAURIOITUMISMALLI p11-->p11/p12 ETELÄ-SUOMI, KVL 0-1500



HIPS2-vaurioitumismallit/SYYS91

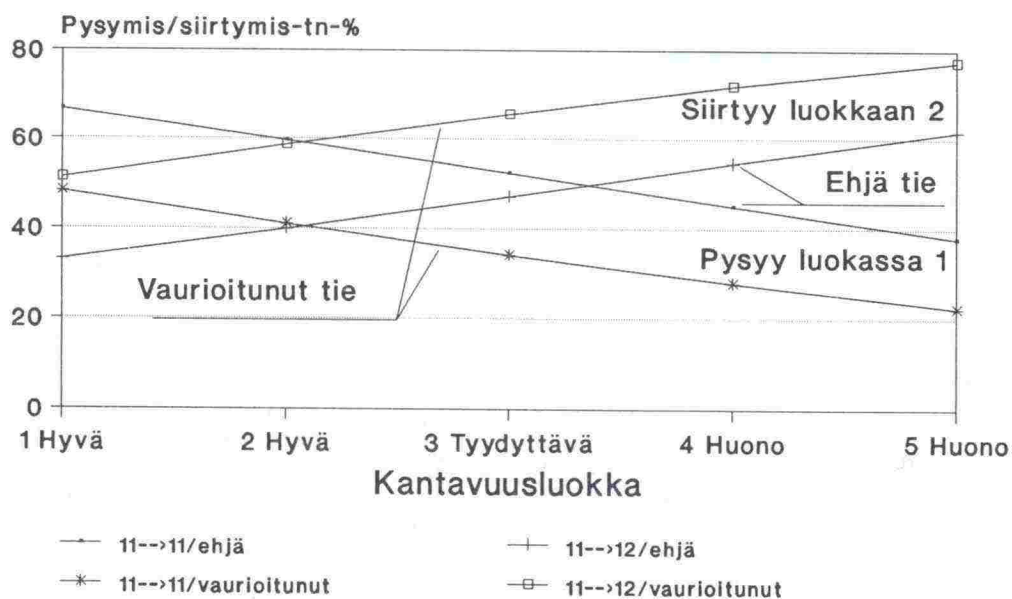
Kohdassa 7.5.2. esitetty tasaisuusmalli Etelä-Suomen Ab-tiestölle.

AB-TIEN TASAISUUSMALLI p11->p11/p12- ETELÄ-SUOMI, KVL>6000



HIPS2-tasaisuusmallit/SYYS91

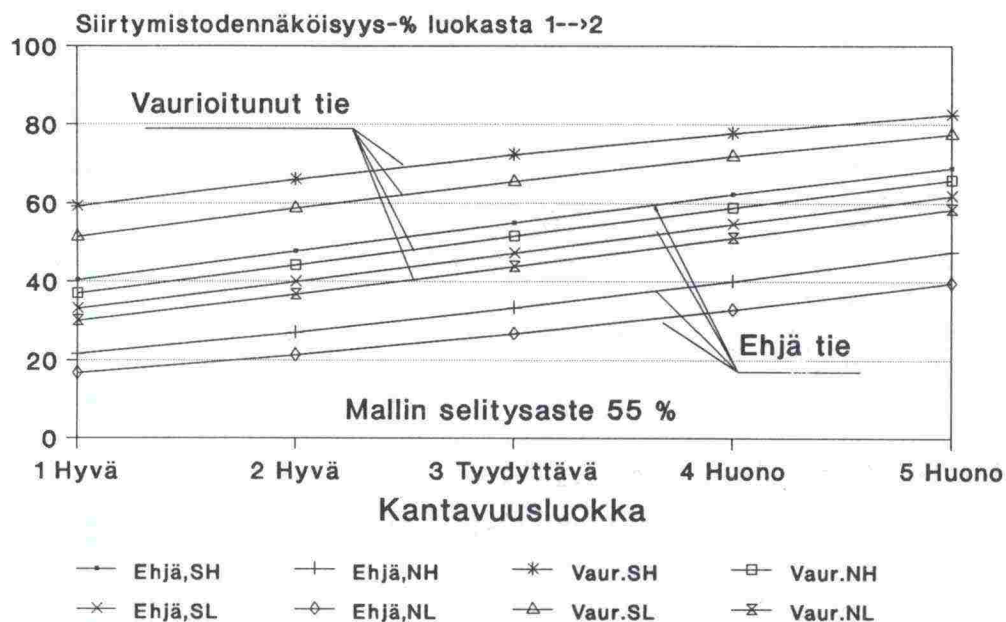
AB-TIEN TASAISUUSMALLI p11->p11/p12- ETELÄ-SUOMI, KVL 0-1500



HIPS2-tasaisuusmallit/SYYS91

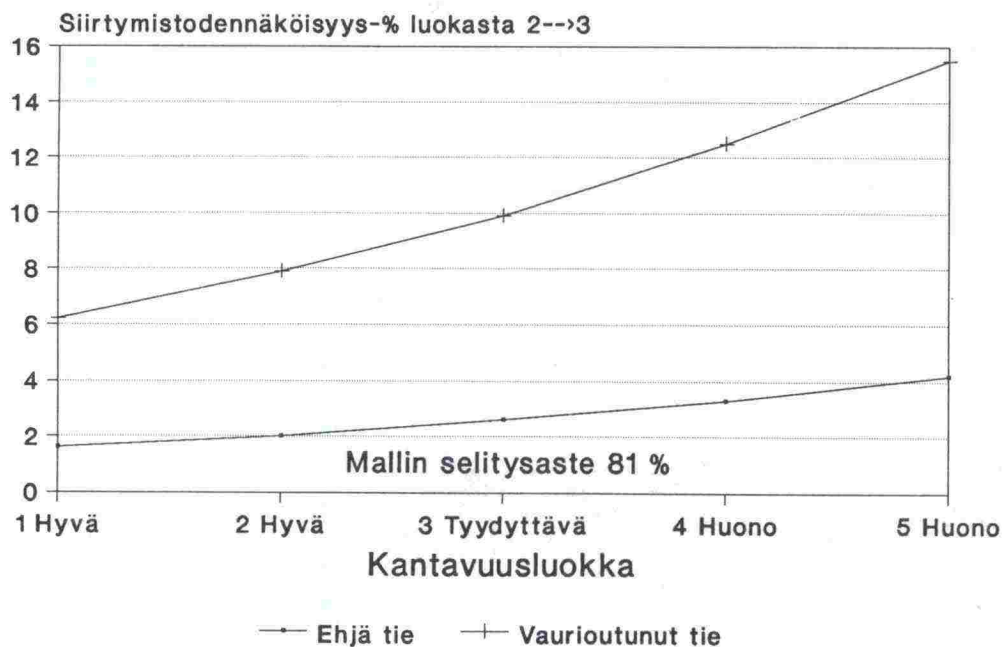
Kohdassa 7.5.2. esitetty tasaisuusmalli (tilasiirtymille tasaisuusluokista 1 ja 2).

AB-TIEN TASAISUUSMALLI (p12)



HIPS2-tasaisuusmallit/SYYS91

AB-TIEN TASAISUUSMALLI (p23)



HIPS2-tasaisuusmallit/SYYS91

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 30/1991 Tien hoitoajoneuvojen vahinkotutkimus. TIEL 3200029
- 31/1991 Polttoaineen hinnannousun vaikutus autonkäyttöön. TIEL 3200030
- 32/1991 Liikenneonnettomuuksien aikasarjaennuste vuodelle 1991. TIEL 3200031
- 33/1991 Hirvieläinonnettomuudet yleisillä teillä 1990. TIEL 3201921-91
- 34/1991 Hankasalmen ja Kauhavan taajamakuvatarkastelu. TIEL 3200032
- 35/1991 Tietullit ja kiinteät tienkäyttömaksut, optimaalinen maksujärjestelmä tieliikennesektorille. TIEL 3200033
- 36/1991 Kansalaisten osallistuminen tiensuunnitteluun; Muurla-Lohjanharju vaihtoehtoselvityksen arviointi. TIEL 3200034
- 37/1991 Rautatien tasoristeysonnettomuudet yleisillä teillä 1990. TIEL 3201870-91
- 38/1991 Palvelutasomittareiden vertailumittaukset 1991. TIEL 3200008-91
- 39/1991 Mittausautomaation hyödyntäminen maarakennuskoneiden ohjauksessa. TIEL 3200035
- 40/1991 Ramppiohjausselvitys. TIEL 3200036
- 41/1991 Ramps Metering Review. TIEL 3200037E
- 42/1991 Kuorma-autojen vaikutuksesta muuhun liikenteeseen. TIEL 3200038
- 43/1991 Maksuhalukkuusmenettelyn soveltuvuus tieliikenteen vaikutusten arviointiin. TIEL 3200039
- 44/1991 Nauvo-Parainen kiinteä tieyhteys: hyvinvointivaikutusten arviointi. TIEL 3200040
- 45/1991 Levähdysalueet ja levähdysalueiden kalusteet. TIEL 3200041
- 46/1991 Tiehöylän karheenlevittimien vertailu. TIEL 3200042
- 47/1991 Lautassirottimien vertailu. TIEL 3200043
- 48/1991 Liuoslevittimien käyttökokeilu. TIEL 3200044
- 49/1991 Projektinjohtokäytäntö ja -mahdollisuudet laajoissa tiensuunnitteluhankkeissa. TIEL 3200045
- 50/1991 Lumitilat yleisillä teillä, perusselvitys
- 51/1991 Raakapuun kuljetusmalli. TIEL 3200046
- 52/1991 Autokanta- ja liikenne-ennusteita eräissä maissa. TIEL 3200047
- 53/1991 Tieverkon ylläpidon ohjausjärjestelmät; otostiet ja rappeutumismallit. TIEL 3200048-91
- 54/1991 Tieverkon ylläpidon ohjausjärjestelmät; HIPS - ohjelmiston lähtötiedot ja perustulokset 1991. TIEL 3200049-91

ISBN 951-47-5516-2
ISSN 0788-3722
TIEL 3200048-91